

SINTERIZACIÓN CONVENCIONAL Y SINTERIZACIÓN POR RESISTENCIA ELÉCTRICA DE LA ALEACIÓN AL- FE (NANO)CRISTALINA Y/O AMORFA PREPARADA MEDIANTE ALEADO MECÁNICO

Petr Urban¹, Fátima Ternero Fernández¹, Raquel Astacio López¹, Francisco G. Cuevas²

¹ *Departamento de Ingeniería y Ciencia de los Materiales y del Transporte, Escuela
Politécnica Superior, Universidad de Sevilla, Sevilla*

² *Departamento de Ingeniería Química, Química Física y Ciencias de los Materiales, Escuela
Técnica Superior de Ingeniería, Universidad de Huelva, Huelva*

E-mail de correspondencia: purban@us.es

RESUMEN

Se ha fabricado polvo amorfo de la aleación $Al_{75}Fe_{25}$ a partir del polvo elemental cristalino de aluminio puro y hierro puro. El proceso de fabricación del polvo amorfo se ha llevado a cabo mediante molienda mecánica con una duración de hasta 100 horas. El objetivo de este trabajo consiste en determinar la evolución de la compresibilidad y de la capacidad de los diferentes polvos de $Al_{75}Fe_{25}$, molidos durante diferentes tiempos, para conformar una pieza alcanzando la resistencia en verde para su posterior sinterización. Se han utilizado dos métodos para sinterizar los diferentes polvos metálicos. La sinterización convencional de los polvos que han alcanzado la resistencia en verde y la sinterización por resistencia eléctrica de todos los polvos. Como resultado se puede destacar que solo los polvos molidos hasta 5 horas han alcanzado la resistencia en verde y podrían ser sinterizados por vía convencional. Por otro lado, se discuten las razones por las cuales no ha sido posible sinterizar ningún tipo de polvo de la aleación $Al_{75}Fe_{25}$ mediante la sinterización por resistencia eléctrica.

1. INTRODUCCIÓN

En los últimos años, las aleaciones metálicas nanocristalinas y/o amorfas se han considerado materiales atractivos con una serie de propiedades únicas como, por ejemplo, la alta dureza y resistencia mecánica (Urban, 2019). Uno de los métodos más utilizados para fabricar polvo amorfo es el aleado mecánico. A parte de los posibles problemas a lo largo de la fabricación de las aleaciones amorfas el siguiente reto es la sinterización de dichos polvos para mantener la fase amorfa en el compacto. El objetivo de este trabajo es determinar el comportamiento de los polvos cristalinos, nanocristalinos y amorfos bajo presión y la posible sinterización de estos polvos.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

La fabricación y caracterización de los polvos amorfos de $\text{Al}_{75}\text{Fe}_{25}$ está escrita en el artículo de Urban, 2013. Para la consolidación y sinterización convencional se ha utilizado prensa Suzpecar MUE-60 y horno de tubo horizontal LINDBERG, modelo 54553-H, respectivamente. Para el proceso SRE se ha utilizado una máquina de soldadura por resistencia (Serra Soldadura S.A., España) que proporciona los requisitos eléctricos (alta intensidad y baja tensión) y mecánicos (carga por compresión) necesarios. Durante la consolidación de polvos mediante SRE, la presión de compactación se fijó en 80 MPa. Se probaron varias combinaciones de intensidad de corriente (entre 5.0 y 8.0 kA) y tiempo de permanencia de la corriente (de 40 a 80 ciclos, con 50 ciclos = 1.0 s). Solo se utilizó un pulso para consolidar cada muestra.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Después de realizar moliendas del polvo $\text{Al}_{75}\text{Fe}_{25}$ hasta las 100 horas, y a partir de los estudios detallados en el artículo de Urban, 2013, se ha determinado que tras la molienda de 20 horas existen todavía restos de fase nanocristalina junto con fase amorfa. A partir de 50 h de molienda el polvo es completamente amorfo.

En el proceso de compactación de los polvos se puede apreciar en las curvas de compresibilidad (Gráfico 1) que el aluminio es más dúctil que el hierro y alcanza su máxima densidad relativa, unos 98%, con tan solo 500 MPa. Por otro lado, el hierro aumenta su densidad relativa continuamente a medida que aumenta la presión aplicada, alcanzando finalmente un 98% de la densidad relativa con 1200 MPa. La curva de compresibilidad de la mezcla de Al y Fe se parece a la del aluminio puro, ya que en la mezcla hay un 75% atómico de aluminio. Por su parte, en las curvas del polvo molido se puede apreciar la evolución de los efectos de soldadura y fractura de las partículas durante la molienda y el consecuente endurecimiento por aleación y deformación. Como aumenta el tiempo de la molienda aumenta la dureza del polvo y la compactación se hace cada vez más difícil. En la molienda de una hora, donde predomina la soldadura frente a la fractura de las partículas, el polvo no sufre un endurecimiento importante y con la presión máxima, de 1200 MPa, se alcanza densidad relativa de 96%. En el polvo molido durante 5 h empieza a predominar la fractura sobre la soldadura, el polvo se está endureciendo y la compresibilidad del polvo no es mayor que 87%. Por último, las curvas de la mezcla molida con 20, 50 y 100 horas tienen las típicas características de un polvo duro, ya que incluso con presiones altas se alcanza un máximo de unos 76%, 76% y 78% de la densidad relativa, respectivamente. Este endurecimiento de las partículas hace que resulte imposible prensar el

polvo con el objetivo de conseguir un compacto en verde, desmoronándose los compactos después de sacarlos de la matriz. Los únicos compactos que han alcanzado la resistencia en verde y que han podido ser sinterizados convencionalmente, han sido los polvos en E. R. y los polvos molidos durante 1 y 5 h.

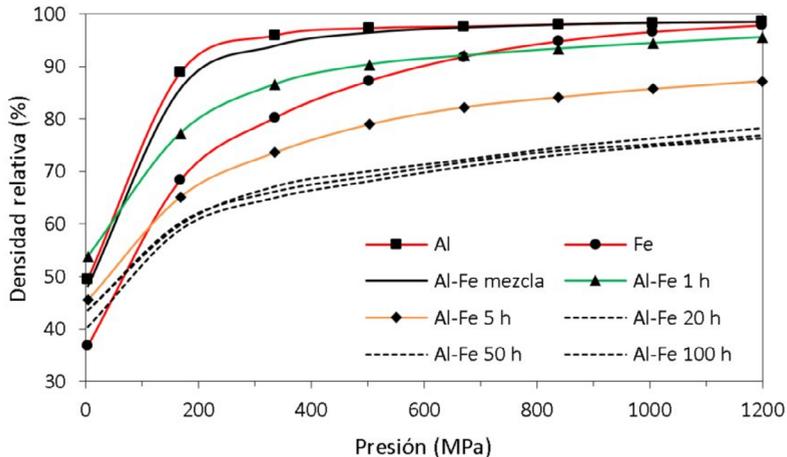


Gráfico 1. Curvas de compresibilidad de los polvos en E.R., de la mezcla sin moler y de la mezcla molida durante 1, 5, 20, 50 y 100 horas.

Fuente: elaboración propia.

A parte de la consolidación y sinterización convencional se ha intentado sinterizar el polvo sin moler y molido con un método novedoso de sinterización por resistencia eléctrica. Sin embargo, el polvo de Al-Fe es muy difícil de sinterizar por resistencia eléctrica debido a su fácil oxidación. En particular, en la aleación de Al-Fe estudiada hay mucha cantidad de aluminio, un 75% atómico, con lo cual no se puede sinterizar ni con las intensidades más altas (8 kA) ni con tiempos prolongados (80 ciclos o 1.6 s) (Gráfico 2). La única posibilidad para conseguir sinterizar este polvo podría ser utilizar una cámara protectora a la hora de sacar el polvo de la molienda y proteger así el polvo molido del contacto con el oxígeno de la atmósfera, o sinterizar el polvo con un equipo de consolidación por descarga de condensadores, el cual se está desarrollando actualmente en nuestro laboratorio. En esencia, dicho equipo permite aplicar alta intensidad (en torno a 5 kA) y media tensión (en torno a 100-200 V). La diferencia fundamental con el equipo de SRE se encuentra pues en la mayor tensión, capaz de provocar la ruptura dieléctrica de las capas de óxido que envuelven a las partículas de polvo. Para comparación, se puede observar en el Gráfico 2 curva SRE del polvo amorfo de la aleación $Al_{50}Ti_{50}$ sinterizada de manera correcta, donde la intensidad después de pocos ciclos alcanza el valor deseado de 8 kA y esta intensidad se mantiene el resto de tiempo, hasta el total de 80 ciclos.

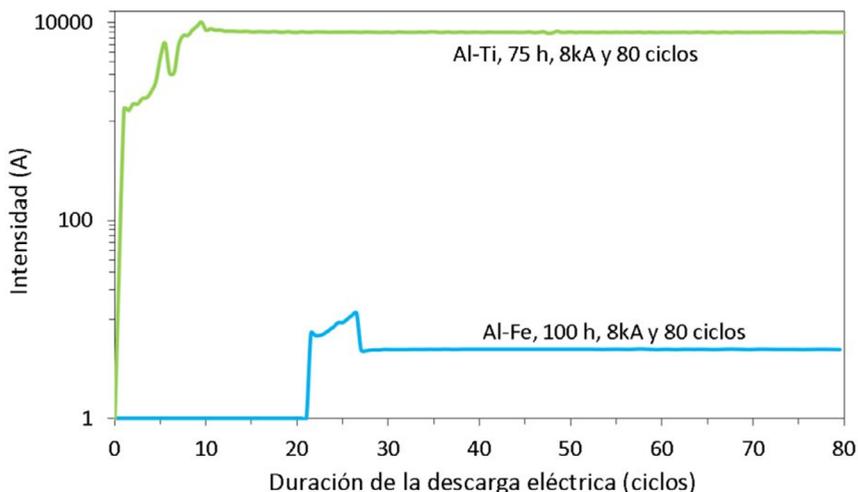


Gráfico 2. Evolución de la intensidad en un proceso de SRE del polvo $Al_{75}Fe_{25}$ y $Al_{50}Ti_{50}$.
Fuente: elaboración propia.

4. CONCLUSIONES

Se ha investigado la compresibilidad del polvo $Al_{75}Fe_{25}$ sin moler y molido durante 1, 5, 20, 50 y 100 h. A partir de 1 h de molienda el polvo se está endureciendo y la densidad relativa disminuye hasta los valores mínimos de unos 76% para polvos molidos más que 20 h. La consolidación y sinterización convencional es exitosa para polvos en E. R. y molidos hasta 5 h. Por lo contrario, la aleación $Al_{75}Fe_{25}$ es imposible de sinterizar por resistencia eléctrica.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Urban, P.** (2019). Amorphous Al-Ti Powders Prepared by Mechanical Alloying and Consolidated by Electrical Resistance Sintering. *Metals*, 9(11), 1140-1153. <https://doi.org/10.3390/met9111140>
- Urban, P.** (2013). Solid state amorphization in the Al-Fe binary system during high energy milling. *AIP Conference Proceedings*, 1569, 476-479. <https://doi.org/10.1063/1.4849319>